

А. И. КОРОБКО, канд. техн. наук, зав. отд., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»;

З. И. КОРОБКО, науч. сотр., НИПКИ «Молния» НТУ «ХПИ»

ИСПЫТАТЕЛЬНЫЙ КОМПЛЕКС ДЛЯ ИССЛЕДОВАНИЙ ВОЗДЕЙСТВИЯ МОЩНЫХ ИМПУЛЬСНЫХ ЭЛЕКТРОМАГНИТНЫХ ПОЛЕЙ СУБНАНОСЕКУНДНОГО ДИАПАЗОНА НА РАДИОЭЛЕКТРОННЫЕ СИСТЕМЫ

Приведено описание испытательного комплекса для исследований воздействия мощных импульсных электромагнитных полей субнаносекундного диапазона на радиоэлектронные системы. Комплекс включает в себя две независимых системы антенного типа для генерирования в свободном пространстве электромагнитных полей с вертикальной и горизонтальной поляризациями.

Ключевые слова: импульсное электромагнитное поле, субнаносекундный диапазон, антенна.

Введение. Одной из реальных угроз современного мира является угроза электромагнитного терроризма. Значимость этой угрозы определяется тем фактом, что современный мир характеризуется глобальным применением практически во всех областях высокотехнологичных систем, включающих в себя различные радиоэлектронные системы (РЭС).

Обеспечение бесперебойной работы этих РЭС в кризисных ситуациях (проявление электромагнитного терроризма) является на сегодняшний день крайне актуальной задачей [1-3] и направлено в первую очередь на уменьшение ущерба вооружению, военной технике, а также критическим объектам государственного значения в случае появления электромагнитной угрозы.

Принимая во внимание крайнюю сложность определения уровней стойкости радиоэлектронных компонентов и РЭС к поражающему воздействию сверхмощного электромагнитного излучения (ЭМИ) теоретическим путем, особую актуальность приобретают экспериментальные методы исследований поведения, как отдельных радиоэлектронных компонентов, так и РЭС при воздействии на них импульсного ЭМИ [4-6].

В настоящее время различают два типа испытательных установок для экспериментальных исследований воздействия импульсного ЭМИ на радиоэлектронные компоненты и на РЭС: установки «связанного» типа и установки «свободного типа». К первым относятся установки, в которых система полеобразования выполнена в виде как минимум двусвязной линии передачи, в рабочем объеме которой распространяется квазиплоская или сферическая волна ЭМИ в виде волны Т типа [7,8].

Установки данного типа имеют рабочий диапазон частот от 0 до 10^{10} Гц, позволяют генерировать импульсное ЭМИ с предельными значениями амплитудно-временных параметров (АВП), однако их главный недостаток – ограниченный рабочий объем не позволяет проводить исследования протяженных РЭС, так как размеры исследуемой РЭС потенциально не могут превышать размеры системы полеобразования установок данного типа.

Установки второго типа [9] лишены данного недостатка так как их рабочий объем, располагается в свободном пространстве, что позволяет производить полномасштабные исследования РЭС. Кроме этого, установки данного типа имеют существенно большую верхнюю рабочую частоту, достигающую сотен гигагерц. К недостаткам установок второго типа следует отнести отличную от нуля нижнюю рабочую частоту.

Ниже приводится описание испытательного комплекса второго типа, предназначенного для проведения исследований воздействия мощного ЭМИ субнаносекундного диапазона на РЭС.

Состав и описание испытательного комплекса.

Испытательный комплекс (см. рис.) состоит из двух независимых систем, генерирующих ЭМИ с вертикальной и горизонтальной поляризациями. Состав и основные технические характеристики данных систем одинаковы (за исключением поляризации). Каждая из систем включает в себя следующие составные части:

- блок питания;
- импульсный источник питания;
- генератор импульсного СВЧ излучения;
- систему газообеспечения;
- антенную систему;
- систему управления.

Блок питания преобразует исходное напряжение питающей сети 220В в первичное импульсное напряжение, которое преобразуется высоковольтным импульсным источником питания в высокое импульсное напряжение с максимальным значением 100 кВ, и временем нарастания около 3 нс.

Высокое импульсное напряжение преобразуется генератором импульсного СВЧ излучения плазменного типа в импульсное ЭМИ, которое направляется с помощью антенной системы на исследуемую радиоэлектронную систему.

Система газообеспечения производит охлаждение плазмообразующего газа, используемого в генераторе импульсного СВЧ излучения с целью обеспечения бесперебойной его работы длительное время в частотном режиме.

Каждая из антенных систем выполнена в виде параболической зеркальной антенны офсетного типа, размещенной на опорно-поворотной платформе.

Система управления обеспечивает работу комплекса как в режиме одиночных импульсов, так и в частотном режиме.



Рисунок – Испытательный комплекс (слева – горизонтальная поляризация, справа – вертикальная поляризация)

Основные технические характеристики комплекса. Комплекс и его составные части имеют следующие основные характеристики.

Основные амплитудно-временные и пространственные параметры излучаемого ЭМИ.

1. Вид излучения – линейно поляризованная сферическая Т-волна в виде радиоимпульса с амплитудно-временными характеристиками типа

$$E(t) = E_m \cdot l(t) \cdot \exp(-t/\tau) \cdot \sin(\omega t); \quad E(t) = 377 \cdot H(t),$$

где $E(t)$ и $H(t)$ – электрическая и магнитная составляющие импульсного электромагнитного поля; $l(t)$ – единичная функция; E_m и H_m – максимальные значения импульсов, τ – постоянная спада; ω – центральная циклическая частота заполнения ($\tau = 8 \cdot 10^{-9}$ с, $\omega = 7 \cdot 10^9$ 1/с).

2. Частота следования импульсов – 100 Гц и режим одиночных импульсов.

3. Максимальное значение электрической составляющей ЭМИ на апертурной поверхности зеркальной антенны 57 кВ/м – горизонтальная поляризация; 51 кВ/м – вертикальная поляризация.

4. Угол расходимости ЭМИ в плоскости большой оси зеркальной антенны – 9° .

5. Угол расходимости ЭМИ в плоскости малой оси зеркальной антенны – 12° .

Основные характеристики антенной системы. Антенная система имеет следующие основные характеристики.

1. Тип антенной системы – офсетная зеркальная параболическая антенна.
2. Полные размеры антенны по большой/малой осям – (1600/1446) мм.
3. Размеры эффективной поверхности антенны по большой/малой осям – (1550/1396) мм.
4. Фокусное расстояние – 790 мм.
5. Отношение $F/D = 0,577$.
6. Материал зеркала – полированный алюминий толщиной 1,5 мм.
7. Угол наведения в вертикальной плоскости: $-5^\circ \dots +90^\circ$.
8. Угол наведения в горизонтальной плоскости – 360° .

Условия проведения исследований.

1. Исследования проводятся в открытом полупространстве, ограниченном грунтом.

2. В процессе исследований объект исследований постепенно перемещается по лучу, связывающему фазовый центр антенной системы и геометрический центр объекта испытаний без изменения ориентации последнего до момента появления отказов. При этом возможно как перемещение объекта исследований, так и самого испытательного комплекса.

4. Для контроля за величиной отраженного от поверхности грунта импульсного ЭМИ в процессе испытаний в точке размещения испытуемого объекта производилось измерение электрической и магнитной составляющих импульсного ЭМИ, генерируемого испытательным комплексом при отсутствии объекта исследований. При этом расположение и ориентация комплекса и объекта исследований по отношению к поверхности грунта выбиралось таким образом, что величины модулей коэффициентов отражения по E и H полю от поверхности грунта не превышала 10%.

5. АВП импульсного электромагнитного поля генерируемого испытательным комплексом в рабочем объеме контролируются с помощью нестандартных измерителей НИЭП-3 и НИМП-3 с использованием кабельной системы передачи аналоговой информации с обеспечением квазигальванической развязки измерительных преобразователей от «земли». В качестве регистратора использовался аналоговый осциллограф С7-19.

6. Дополнительно в процессе исследований с помощью прибора радиоразведки OSCAR-5000 контролировались амплитудно-частотные характеристики излучаемого импульсного электромагнитного поля в частотном диапазоне 50 кГц - 2,8 ГГц.

Заключение. Приведено описание и основные характеристики испытательного комплекса и его составных частей для проведения исследований воздействия мощных импульсных электромагнитных полей субнаносекундного диапазона на радиоэлектронные системы.

Список литературы: 1. Рикетс Л.В., Бриджес Дж.Э., Майлетта Дж. Электромагнитный им-

пульс и методы защиты : Пер. с англ. – М.: Атомиздат, 1979. – 327 с. **2.** Белоус В. Угроза использования ЭМИ-оружия в военных и террористических целях // Ядерный контроль. – 2005. – № 1 (75), т. 11. – С. 133–140. **3.** Коробко А.И., Коробко З.И. Реальные уровни стойкости различной радиоэлектронной аппаратуры к воздействию импульсного электромагнитного излучения СВЧ – диапазона // Сборник научных трудов 2-го Международного радиотехнического форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». – Х.: НТУ «ХПИ», 2005. – Т. 6. – С. 96. **4.** Мырова Л.О., Чепыженко А.З. Обеспечение стойкости аппаратуры связи к ионизирующим и электромагнитным излучениям : 2-е изд. – М.: Радио и связь, 1988. – 296 с. **5.** Коробко А.И., Коробко З.И. Математическое статистическое моделирование поведения элементов радиоэлектронной аппаратуры при воздействии сверхмощного электромагнитного излучения // Матеріали XVI міжнародної науково-практичної конференції «Інформаційні технології: наука, техніка технологія, освіта, здоров'я», 4-6 червня 2008 р., Харків : у 2 ч. – Ч. 2. – Х.: НТУ «ХПИ», 2008. – С. 351. **6.** Коробко А.И., Коробко З.И. Методика обработки результатов экспериментальных исследований по определению стойкости радиоэлектронных компонентов к поражающему воздействию электромагнитного излучения, свойственного проявлениям электромагнитного терроризма // Вестник НТУ «ХПИ». Сборник научных трудов. Серия: «Техника и электрофизика высоких напряжений». – Х.: НТУ «ХПИ», 2009. – № 39. – С. 100-105. **7.** Бердин С. А., Галецкий Н.П., Гапоненко Н.И. Испытательный стенд для исследования действия импульсных полей сверхкороткой длительности // Сборник научных трудов 2-го Международного радиотехнического форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». – Х.: ННЦ «ХФТИ», 2005. – Т. 6. – С. 47-50. **8.** Кравченко В.И., Немченко Ю.С. Исходный эталон Украины импульсных и магнитных полей, цель создания эталона и требования к его метрологическим и конструктивным характеристикам // Сборник научных трудов 2-го Международного радиотехнического форума «Прикладная радиоэлектроника. Состояние и перспективы развития». – Х.: НТУ «ХПИ», 2005. – Т. 6. – С. 82-83. **9.** C. E. Baum, J. P. O'Loughlin JOLT: A Highly Directive, Very Intensive, Impulse-Like Radiator // IEEE. – Vol. 92, № 7, JULY 2004. – PP. 1096-1109.

Надійшла до редколегії 30.10.2013

УДК 621.373.32

Испытательный комплекс для исследований воздействия мощных импульсных электромагнитных полей субнаносекундного диапазона на радиоэлектронные системы / А.И. Коробко, З.И. Коробко // Вісник НТУ «ХПІ». Серія: Техніка та електрофізика високих напруг. – Х.: НТУ «ХПІ», 2013. – № 60 (1033). – С. 71-75. – Бібліогр.: 9 назв.

Надається опис випробувального комплексу для досліджень дії потужних електромагнітних полів субнаносекундного діапазона на радіоелектронні системи. До складу комплексу входять дві незалежні системи антенного типу для генерування в вільному просторі електромагнітних полів з вертикальною та горизонтальною поляризація ми.

Ключові слова: імпульсне електромагнітне поле, субнаносекундний діапазон, антена.

Describes the test complex for studying the influence of powerful pulsed electromagnetic fields subnanosecond range of the radio-electromagnetic systems. The complex consists of two independent systems for generating in the free space of the electromagnetic field with vertical and horizontal polarizations.

Keywords: pulsed electromagnetic field, subnanosecond range, antenna.